

Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 798 488 A2

2

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
01.10.1997 Patentblatt 1997/40

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: F16F 15/00, B66B 11/00

(21) Anmeldenummer: 97103829.4

(22) Anmeldetag: 07.03.1997

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT FR GB IT SE

(30) Priorität: 29.03.1996 DE 19612570

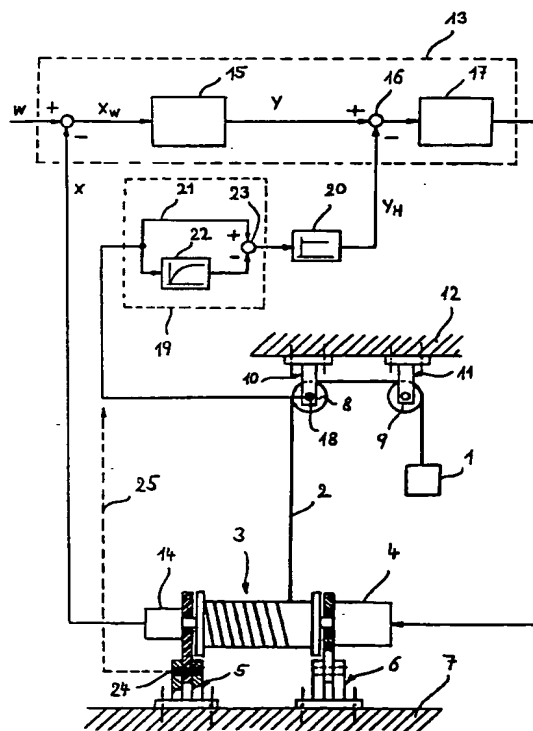
(71) Anmelder: Mannesmann Rexroth GmbH  
97816 Lohr/Main (DE)

(72) Erfinder:

- Köckemann, Albert, Dr.  
97816 Lohr/Main (DE)
- Konertz, Jürgen  
97833 Frammersbach (DE)
- Klein, Georg  
97816 Lohr/Main (DE)

### (54) Einrichtung zur Dämpfung der Schwingungen eines Seil-Masse-Systems

(57) Eine Einrichtung zur Dämpfung der Schwingungen eines Seil-Masse-Systems, (1,2,3,10,12) bei dem ein von der Stellgröße einer Regeleinrichtung (13) gesteuerter Antrieb (4) eine über ein Seil (2) mit dem Antrieb (4) verbundene Last (1) entsprechend dem zeitlichen Verlauf einer der Regeleinrichtung (13) zugeführten Führungsgröße (14,25) anhebt oder absenkt, soll im Aufbau vereinfacht werden. Hierzu wird das Ausgangssignal eines im Kraftfluß des Seil-Masse-Systems angeordneten Kraftgebers (14) als Korrektursignal auf die Regeleinrichtung (13) zurückgeführt. Die Einrichtung ist für alle Anordnungen, bei denen eine Last über ein Seil von einem geregelten Antrieb angehoben oder abgesenkt wird, einsetzbar, insbesondere bei Seilantrieben von Bühnenaufzügen.



EP 0 798 488 A2

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur Dämpfung der Schwingungen eines Seil-Masse-Systems gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Von einem Aktuator angetriebene Seil-Masse-Systeme, wie z. B. Windenantriebe, die für Bühnenaufzüge eingesetzt werden, sind Feder-Masse-Systeme, bei denen das Seil als Feder wirkt. Seil-Masse-Systeme sind stark schwingungsfähige Systeme, die nur eine schwache Dämpfung besitzen. Die Eigenfrequenz eines derartigen Systems ist nicht konstant, sondern ändert sich sowohl in Abhängigkeit von der Masse der jeweils zu hebenden Last als auch in Abhängigkeit von der jeweiligen freien Länge des Seils zwischen einem Minimalwert und einem Maximalwert. Dies bedeutet, daß die Eigenfrequenz des Seil-Masse-Systems auch bei konstanter Last nicht konstant ist, sondern entsprechend der freien Länge des Seils um einen mittleren Wert schwankt. Schwingungen des Seil-Masse-Systems werden z. B. durch Beschleunigungsänderungen der Masse beim Anfahren oder Abbremsen angeregt, aber auch durch unrund laufende Antriebe, z. B. aufgrund von Druckstößen der einzelnen Motorkolben von Hydromotoren. Eine Anregung des Seil-Masse-Systems mit einer Frequenz, die gleich groß wie seine jeweilige Eigenfrequenz oder ein Vielfaches der jeweiligen Eigenfrequenz ist, führt zu einer Dauerschwingung der Last, die der Aufwärtsbewegung oder der Abwärtsbewegung der Last überlagert ist. Nicht weniger störend ist es, wenn die der Aufwärtsbewegung oder der Abwärtsbewegung der Last überlagerten Schwingungen aufgrund einer Anregung außerhalb der Eigenfrequenz des Seil-Masse-Systems in der Art einer Schwebung auf- und abklingen.

Eine Möglichkeit der Dämpfung der Schwingungen des Seil-Masse-Systems ist die Messung der Beschleunigung der Masse und die Rückführung des Beschleunigungssignals auf die den Antrieb steuernde Regeleinrichtung. Die Messung der Beschleunigung der Masse ist in der Praxis nur schwer zu realisieren, da die Anschlußleitungen eines mit der Masse verbundenen Beschleunigungsaufnehmers beim Reben und Senken der Last mitgeführt werden müssen. Die Anschlußleitungen müßten z. B. wie das die Last tragende Seil auf- und abgewickelt werden. Hierfür wäre zusätzlicher Platz und Aufwand erforderlich, wobei bei der Führung der Anschlußleitungen darauf zu achten ist, daß die ohnehin schon mechanisch beanspruchten Anschlußleitungen nicht beschädigt werden. Aus Sicherheitsgründen müßte deshalb eine Überwachung auf Kabelbruch erfolgen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Einrichtung der eingangs genannten Art zu schaffen, die mit einfacheren Mitteln eine Dämpfung der Schwingungen des Seil-Masse-Systems ermöglicht.

Diese Aufgabe wird durch das kennzeichnende Merkmal des Anspruchs 1 gelöst. Die Erfindung macht von der Überlegung Gebrauch, daß die von der Last

verursachte Kraft im Kraftfluß eines Seil-Masse-Systems praktisch den gleichen zeitlichen Verlauf und die gleiche Phasenlage wie die Beschleunigung der Masse aufweist. Da die Kraft im Kraftfluß nicht nur innerhalb des Seil-Masse-Systems auftritt, sondern auch als Reaktionskraft an Stellen, an denen der Antrieb oder Umlenkrollen, über die das Seil geführt ist, befestigt sind, ist es möglich, den Kraftgeber ortsfest und damit unabhängig von der jeweiligen Lage der Masse anzuordnen. Damit ist es möglich, auch die Anschlußleitungen des Kraftgebers ortsfest zu verlegen, und es entfällt eine mechanische Beanspruchung der Anschlußleitungen.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet. Wird nur der Wechselanteil der von der Last verursachten Kraft auf die Regeleinrichtung zurückgeführt, verbessert sich das Regelverhalten, insbesondere die stationäre Regelgenauigkeit. Eine statische Kraft, z. B. die Gewichtskraft der Last, die im Stillstand auf den Antrieb wirkt, macht sich dann nicht mehr als Gleichanteil der dem Antrieb zugeführten Stellgröße bemerkbar. Hierfür ist ein Hochpaßfilter zwischen Kraftgeber und Regeleinrichtung angeordnet, das den Gleichanteil eliminiert. Die Eckfrequenz des Hochpaßfilters ist kleiner als die kleinste Eigenfrequenz des Seil-Masse-Systems. Eine einfache Realisierung eines Hochpaßfilters erster Ordnung ist die Parallelanordnung eines Proportionalgliedes und eines Verzögerungsgliedes erster Ordnung mit gleichen Verstärkungsfaktoren, wobei das Ausgangssignal der Parallelanordnung die Differenz zwischen dem Ausgangssignal des Proportionalgliedes und dem Ausgangssignal des Verzögerungsgliedes erster Ordnung ist. Die Ausgestaltung des Kraftgebers als Befestigungselement für die Verlagerung einer Seilumlenkrolle erlaubt eine einfache Montage bei Seil-Masse-Systemen mit einer Umlenkung des Seils über mindestens eine Seilumlenkrolle. Dies gilt sowohl für die Verlagerung ortsfester Seilumlenkrollen als auch für die Verlagerung beweglich angeordneter Seilumlenkrollen, z. B. eines Spulapparates. Die Ausgestaltung des Kraftgebers als Befestigungselement für die Verlagerung des Antriebs ermöglicht die Kraftmessung, wenn keine Seilumlenkung vorgesehen ist oder wenn eine auf mehrere Seile verteilte Last von einem Aktuator angetrieben wird. Die Verwendung eines Kraftmeßbolzens oder eines Kraftmeßflansches als Befestigungselement ermöglicht eine einfache Befestigung der Verlagerungen der Seilumlenkrolle oder des Antriebs an der Deckenkonstruktion bzw. am Fundament.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist anhand der Zeichnung beschrieben. Die Zeichnung zeigt eine Einrichtung zur Dämpfung der Schwingungen eines Seil-Masse-Systems in schematischer Darstellung am Beispiel eines Bühnenaufzugs der Obermaschinerie eines Theaters.

Eine Last 1 ist an einem Seil 2 gehalten, das auf eine Winde 3 gewickelt ist. Ein als Aktuator dienender Motor 4, z. B. ein Hydromotor oder ein Elektromotor,

treibt die Winde 3 an. Die Winde 3 und der Motor 4 bilden den Antrieb des Seil-Masse-Systems. Die Winde 3 ist über zwei Verlagerungskonstruktionen 5 und 6 an einem Fundament 7 befestigt. Das Seil 2 ist über zwei Seilumlenkrollen 8 und 9 geführt, die über je eine Verlagerungskonstruktion 10 bzw. 11 an einer Deckenkonstruktion 12 befestigt sind. Eine elektrische Regeleinrichtung 13 steuert im Fall einer Lageregelung die Winkelstellung oder im Fall einer Geschwindigkeitsregelung die Geschwindigkeit der mit dem Motor 4 verbundenen Winde 3 entsprechend einer Führungsgröße, die der Regeleinrichtung 13 als Sollwert  $w$  zugeführt ist. Das Ausgangssignal eines Meßumformers 14 ist der Regeleinrichtung 13 als Istwert  $x$  zugeführt. Das Ausgangssignal des Meßumformers 14 ist im Fall einer Lageregelung ein Maß für die Winkelstellung bzw. im Fall einer Geschwindigkeitsregelung ein Maß für die Geschwindigkeit der Winde 3. Die Regeleinrichtung 13 bildet aus dem Sollwert  $w$  und dem Istwert  $x$  die Regelabweichung  $x_w$ . Sie ist dem Eingang eines Reglers 15 zugeführt, der aus ihr in an sich bekannter Weise eine Stellgröße  $y$  berechnet. Die Stellgröße  $y$  ist über ein Verknüpfungsglied 16 einem Leistungsverstärker 17 zugeführt, der den Motor 4 ansteuert. Bei Bedarf kann der Leistungsverstärker 17 als unterlagerter Regelkreis ausgebildet werden.

Zwischen der Rolle 8 und der Verlagerungskonstruktion 10 ist ein Kraftmeßbolzen 18 angeordnet, der als kraftübertragendes Element für die Rolle 8 dient. Die Kraft des Kraftflusses des aus der Last 1 und dem Seil 2 bestehenden Seil-Masse-Systems wirkt auf den Kraftmeßbolzen 18. Der Wechselanteil dieser Kraft ist ein Maß für den Wechselanteil der Beschleunigung der Masse 1. Der Kraftmeßbolzen 18 formt die auf ihn wirkende Kraft in ein elektrisches Signal um. Dieses Signal ist einem Hochpaßfilter 19 zugeführt. Das Hochpaßfilter 19 leitet nur den Wechselanteil des Ausgangssignals des Kraftmeßbolzens 18 weiter. Das Ausgangssignal des Hochpaßfilters 19 ist dem Verknüpfungsglied 16 der Regeleinrichtung 13 über ein Proportionalglied 20 zugeführt. Das Proportionalglied 20 ermöglicht eine Bewertung des Ausgangssignals des Hochpaßfilters 19. In dem Verknüpfungsglied 16 erfolgt eine Gegenkopplung des mit  $y_H$  bezeichneten Ausgangssignals des Proportionalgliedes 20. Bei sehr langsamen Kraftänderungen oder bei einer zeitlich konstanten Kraft wird das Ausgangssignal  $y_H$  des Proportionalgliedes 20 zu Null. Das Hochpaßfilter 19 ist durch die Parallelanordnung einer Signalleitung 21, die einem Proportionalglied mit dem Verstärkungsfaktor 1 entspricht, und eines Verzögerungsgliedes erster Ordnung 22 mit demselben Verstärkungsfaktor aufgebaut. Ein Verknüpfungsglied 23 bildet die Differenz aus dem der Leitungsverbindung 21 zugeführten Signal und dem Ausgangssignal des Verzögerungsgliedes erster Ordnung 22.

In der Verlagerungskonstruktion 5 der Winde 3 ist ein Kraftmeßbolzen 24 angeordnet. Über die Winde 3 wirkt die Kraft des Kraftflusses in dem Seil-Masse-

System auch auf den Kraftmeßbolzen 24. Es ist daher möglich, dem Hochpaßfilter 19 anstelle des Ausgangssignals des Kraftmeßbolzens 18 das Ausgangssignal des Kraftmeßbolzens 24 zuzuführen, um Schwingungen des Seil-Masse-Systems zu dämpfen. Diese Signalverbindung ist durch eine gestrichelte Linie 25 angedeutet.

Anstelle eines Kraftmeßbolzens kann in einer Verlagerungskonstruktion des Antriebs oder einer Seilrolle ein Kraftmeßflansch vorgesehen werden.

Die erfindungsgemäße Einrichtung zur Dämpfung der Schwingungen eines Seil-Masse-Systems ist nicht auf die als Ausführungsbeispiel beschriebenen Bühnenaufzüge beschränkt. Die Einrichtung ist in gleichem Maße für alle Anordnungen geeignet, bei denen eine Last mit einem Seil gehoben oder gesenkt wird. Hierzu gehören Hebezeuge, wie Krane, und Personenaufzüge sowie Lastenaufzüge. Der Seilantrieb muß nicht mit einem rotatorischen Antrieb über eine Winde erfolgen, sondern kann auch über einen Linearantrieb erfolgen.

#### Patentansprüche

1. Einrichtung zur Dämpfung der Schwingungen eines Seil-Masse-Systems, bei dem ein von der Stellgröße einer Regeleinrichtung gesteuerter Antrieb eine über ein Seil mit dem Antrieb verbundene Last entsprechend dem zeitliche Verlauf einer der Regeleinrichtung zugeführten Führungsgröße anhebt oder absenkt, insbesondere Seilantrieb für einen Bühnenaufzug, **gekennzeichnet** durch die Rückführung des Ausgangssignals eines im Kraftfluß des Seil-Masse-Systems angeordneten Kraftgebers (18; 24) auf die Regeleinrichtung (13).
2. Einrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß nur der Wechselanteil des Ausgangssignals des im Kraftfluß des Seil-Masse-Systems angeordneten Kraftgebers (18; 24) auf die Regeleinrichtung (13) zurückgeführt ist.
3. Einrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Ausgangssignal des Kraftgebers (18; 24) über ein Hochpaßfilter (19) geführt ist, dessen Eckfrequenz kleiner als die kleinste Eigenfrequenz des Seil-Masse-Systems ist.
4. Einrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Hochpaßfilter (19) als Parallelanordnung eines Proportionalgliedes (21) und eines Verzögerungsgliedes erster Ordnung (22) mit gleichem Verstärkungsfaktor ausgebildet ist, wobei das Ausgangssignal der Parallelanordnung die Differenz zwischen dem Ausgangssignal der Proportionalgliedes (21) und dem Ausgangssignal des Verzögerungsgliedes erster Ordnung (22) ist.
5. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der

Kraftgeber (18) als Befestigungselement für die Verlagerung einer Seilumlenkrolle (8) ausgebildet ist.

6. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, <sup>5</sup>  
**dadurch gekennzeichnet**, daß der Kraftgeber (24)  
als Befestigungselement für die Verlagerung des  
Antriebs (3, 4) ausgebildet ist.
7. Einrichtung nach einem der vorhergehenden <sup>10</sup>  
Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der  
Kraftgeber ein Kraftmeßbolzen oder ein Kraftmeß-  
flansch ist.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

